

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 663 545**

51 Int. Cl.:

E02D 3/00 (2006.01)

E01C 11/16 (2006.01)

E01C 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.09.2008 E 16176619 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.01.2018 EP 3095920**

54 Título: **Geocelda para aplicaciones de soporte de carga**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.04.2018

73 Titular/es:

**PRS MEDITERRANEAN LTD. (100.0%)
Europe-Israel Tower 2 Weizmann Street
64239 Tel Aviv, IL**

72 Inventor/es:

**HALAHMI, IZHAR;
EREZ, ADI y
EREZ, ODED**

74 Agente/Representante:

DURAN-CORRETJER, S.L.P

ES 2 663 545 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Geocelda para aplicaciones de soporte de carga

5 **ANTECEDENTES**

La presente divulgación se refiere a un sistema de confinamiento celular, también conocido como CCS (del inglés "Celular Confinement System") o geocelda, que es apto para su utilización en soportar cargas, tales como las presentes en carreteras, vías férreas, zonas de aparcamiento y pavimentos. En particular, las geoceldas de la presente divulgación conservan sus dimensiones tras grandes números de ciclos de carga y ciclos de temperatura; por tanto el confinamiento requerido del relleno se conserva a lo largo de todo el ciclo de vida de diseño de la geocelda.

Un sistema de confinamiento celular (CCS) es una matriz de celdas de contención que se asemeja a una estructura en "panal de abeja" que se llena con relleno granular, que puede ser suelo incoherente, arena, grava, balasto, piedra triturada, o cualquier otro tipo de árido granular. También conocidos como geoceldas, los CCS se utilizan principalmente en aplicaciones de ingeniería civil que requieren poca resistencia mecánica y rigidez, tales como protección de taludes (para prevenir la erosión) o que proporcionan soporte lateral para taludes.

Los CCS difieren de otros sistemas geosintéticos tales como geomallas o geotextiles en que las geomallas/los geotextiles son planos (es decir, bidimensionales) y se utilizan como refuerzo plano. Las geomallas/los geotextiles proporcionan confinamiento sólo para distancias verticales muy limitadas (habitualmente 1-2 veces el tamaño promedio del material granular) y están limitados a materiales granulares que presentan un tamaño promedio de más de aproximadamente 20 mm. Esto limita la utilización de dichos sistemas geosintéticos bidimensionales a materiales granulares relativamente caros (balasto, piedra triturada y grava) porque apenas proporcionan confinamiento o refuerzo alguno a materiales granulares de calidad inferior, tales como asfalto reciclado, hormigón triturado, cenizas volantes y desechos de cantera. En cambio, los CCS son estructuras tridimensionales que proporcionan confinamiento en todas las direcciones (es decir a lo largo de toda la sección transversal de cada celda). Además, la geometría de múltiples celdas proporciona una resistencia pasiva que aumenta la capacidad de soporte. A diferencia de los sistemas geosintéticos bidimensionales, una geocelda proporciona confinamiento y refuerzo a materiales granulares que presentan un tamaño de partícula promedio menor de aproximadamente 20 mm, y en algunos casos materiales que presentan un tamaño de partícula promedio de aproximadamente 10 mm o inferior.

Las geoceldas las fabrican algunas empresas de todo el mundo, incluyendo Presto. Las geoceldas de Presto, así como las de la mayoría de sus imitadores, están compuestas por polietileno (PE). El polietileno (PE) puede ser polietileno de alta densidad (HDPE, del inglés "High Density PE") o polietileno de media densidad (MDPE, del inglés "Medium Density PE"). El término "HDPE" se refiere a continuación en la presente memoria a un polietileno caracterizado por una densidad mayor que $0,940 \text{ g/cm}^3$. El término polietileno de media densidad (MDPE) se refiere a un polietileno caracterizado por una densidad mayor que $0,925 \text{ g/cm}^3$ a $0,940 \text{ g/cm}^3$. El término polietileno de baja densidad (LDPE) se refiere a un polietileno caracterizado por una densidad de $0,91$ a $0,925 \text{ g/cm}^3$.

Las geoceldas compuestas por HDPE y MDPE son o bien lisas o bien texturizadas. Las geoceldas texturizadas son las más comunes en el mercado, puesto que la textura puede proporcionar cierta fricción adicional de las paredes de geocelda con el relleno. Aunque el HDPE puede presentar teóricamente una resistencia mecánica a la tracción (tensión de tracción a la fluencia o a la rotura) mayor que 15 megapascales (MPa), en la práctica, cuando se toma una muestra de una pared de geocelda y se somete a prueba según la norma ASTM D638, la resistencia mecánica es insuficiente para aplicaciones de soporte de carga, tales como carreteras y vías férreas, e incluso a alta velocidad de deformación del 150%/minuto, que apenas alcanza 14 MPa.

Las deficientes propiedades de HDPE y MDPE son claramente visibles cuando se analizan mediante un análisis mecánico dinámico (DMA, del inglés "Dynamic Mechanical Analysis") según la norma ASTM D4065: el módulo de almacenamiento a $23 \text{ }^\circ\text{C}$ es inferior a aproximadamente 400 MPa. El módulo de almacenamiento se deteriora drásticamente cuando aumenta la temperatura y disminuye por debajo de niveles útiles a temperaturas de aproximadamente $75 \text{ }^\circ\text{C}$, limitando por tanto la utilización como refuerzos de soporte de carga. Estas propiedades mecánicas moderadas son suficientes para la protección de taludes, pero no para aplicaciones de soporte de carga a largo plazo que están diseñadas para dar un servicio de más de cinco años.

Otro método para predecir el comportamiento relacionado con el corrimiento a largo plazo de los polímeros es la prueba de corrimiento acelerado mediante el método isotérmico escalonado (SIM, del inglés "Stepped Isothermal Method") según la norma ASTM 6992. En este método, se somete una muestra polimérica a carga constante bajo un programa de temperatura escalonada. Los intervalos de temperatura elevada aceleran el corrimiento. El método permite la extrapolación de las propiedades de la muestra a lo largo de largos periodos de tiempo, incluso de más de 100 años. Habitualmente, cuando se someten a prueba PE y PP, la carga que produce la deformación plástica del 10% se denomina "la resistencia mecánica de diseño a largo plazo" y se utiliza en los sistemas geosintéticos como la resistencia mecánica permitida para los diseños. Las cargas que producen una deformación plástica mayor que el

10% se evitan, porque el PE y el PP se someten a corrimiento de segundo orden por encima de una deformación plástica del 10%. El corrimiento de segundo orden es impredecible y el PE y el PP presentan tendencia a “agrietarse” en este modo.

5 Para aplicaciones tales como carreteras, ferrocarriles y zonas de aparcamiento y almacenamiento con mucha actividad, esta resistencia mecánica de apenas 14 MPa es insuficiente. En particular, las geoceldas con estas propiedades mecánicas moderadas tienden a presentar una rigidez relativamente baja y tienden a deformarse plásticamente a deformaciones de tan solo el 8%. La deformación plástica hace que la celda pierda su potencial de confinamiento, esencialmente el principal mecanismo de refuerzo, tras cortos periodos de tiempo o un bajo número de vehículos pasando (bajo número de cargas cíclicas). Por ejemplo, cuando se somete a prueba una banda tomada de una geocelda típica en la dirección de la máquina (perpendicular al plano de uniones) según la norma ASTM D638 a una velocidad de deformación del 20%/minuto o incluso al 150%/minuto, la tensión a deformación del 6% es menor de 13 MPa, a deformación del 8% es menor de 13,5 MPa, y a deformación del 12% es menor de 14 MPa. Como resultado, las geoceldas de HDPE se limitan a aplicaciones donde la geocelda está bajo una baja carga y donde el confinamiento del relleno de soporte de carga no es obligatorio (por ejemplo en estabilización del suelo). Las geoceldas no están ampliamente aceptadas en aplicaciones de soporte de carga, tales como carreteras, vías férreas, zonas de aparcamiento, o zonas de almacenamiento de recipientes pesados, debido a la alta tendencia de deformación plástica a bajas deformaciones.

20 Cuando se aplica una carga vertical a un sustrato de un material granular, una parte de la carga vertical se traslada a una presión o carga horizontal. La magnitud de la carga horizontal es igual a la carga vertical multiplicada por el coeficiente de empuje de tierras horizontal (también conocido como coeficiente de empuje de tierras lateral o LEPC, del inglés “Lateral Earth Pressure Coefficient”) del material granular. El LEPC puede variar desde aproximadamente 0,2 para los materiales buenos como grava y piedra triturada (generalmente partículas duras, escasamente gradadas, por lo que la compactación es muy buena y la plasticidad es mínima) hasta aproximadamente de 0,3 a 0,4 para materiales más plásticos como desechos de cantera o asfalto reciclado (materiales que presentan un alto contenido en finos y alta plasticidad). Cuando el material granular está húmedo (por ejemplo, lluvia o inundación que satura la capa de asiento y la subbase de una carretera), su plasticidad aumenta, y se desarrollan cargas horizontales superiores, proporcionando tensión circular aumentada en la pared de celda.

30 Cuando el material granular está confinado por una geocelda, y se aplica una carga vertical desde la parte superior por una tensión estática o dinámica (tal como una presión proporcionada por la rueda de un vehículo o la vía del tren), la presión horizontal se traduce en tensión circular en la pared de la geocelda. La tensión circular es proporcional a la presión horizontal y al radio de celda promedio, y es inversamente proporcional al grosor de la pared de celda.

$$HS = \frac{VP * LEPC * r}{d}$$

40 en la que HS es la tensión circular (del inglés “Hoop Stress”) promedio en la pared de la geocelda, VP es la presión vertical (del inglés “Vertical Pressure”) aplicada externamente sobre el material granular por una carga, LEPC es el coeficiente de empuje de tierras lateral, r es el radio de celda promedio y d es el grosor de pared de celda nominal.

45 Por ejemplo, una geocelda compuesta por HDPE o MDPE que presenta un grosor de pared de celda de 1,5 milímetros (incluyendo textura, y refiriéndose el término “grosor de pared” a continuación en la presente memoria a la distancia de un pico a otro en la sección transversal de la pared de celda), un diámetro promedio (cuando se rellena con material granular) de 230 milímetros, una altura de 200 milímetros, rellena con arena o desechos de cantera (un LEPC de 0,3), y una carga vertical de 700 kilopascales (kPa), experimentaría una tensión circular de aproximadamente 16 megapascales (MPa). Tal como se observa a partir de la ecuación de tensión circular, las paredes más finas o de diámetro mayor (que se prefieren desde el punto de vista de economía de la fabricación) se someten a tensiones circulares significativamente superiores, y por tanto no funcionan bien como refuerzo cuando están compuestas por HDPE o MDPE.

55 Las cargas verticales de 550 kPa son comunes para carreteras no pavimentadas. Pueden experimentarse cargas significativamente superiores, de 700 kPa o superior, en carreteras (pavimentadas y no pavimentadas) para camiones pesados, carreteras de servicio industrial o zonas de aparcamiento.

60 Puesto que las aplicaciones de soporte de carga, especialmente carreteras y vías férreas, están sometidas generalmente a millones de cargas cíclicas, es necesario que la pared de la geocelda conserve sus dimensiones originales bajo carga cíclica con deformación plástica muy baja. La utilización comercial de geoceldas de HDPE se limita a aplicaciones que no soportan carga, puesto que el HDPE normalmente alcanza su límite plástico a deformación de aproximadamente el 8%, y a tensiones por debajo de las tensiones típicas encontradas normalmente en aplicaciones de soporte de carga.

5 Sería deseable proporcionar una geocelda que presente rigidez y resistencia mecánica aumentadas, menor tendencia a deformarse a temperaturas elevadas, mejor retención de su fluencia a temperaturas por encima de la temperatura ambiental (23 °C), tendencia reducida a experimentar deformación plástica bajo cargas repetidas y continuas, y/o largos periodos de servicio.

10 El documento WO2008/105878 A1 da a conocer un artículo geotécnico que tiene un coeficiente de expansión térmica menor de 150 ppm/°C a temperatura ambiente y un módulo de corrimiento de por lo menos 400 MPa a 25 °C. Este artículo se puede utilizar para un sistema de confinamiento celular, una geomembrana o una geomalla.

15 Se da a conocer una estructura para el refuerzo del subsuelo en el documento JP H09 228301 A. Varias placas porosas apiladas se unen de tal modo que la fase de las partes de unión de las placas porosas adyacentes está desplazada una de otra en la dirección longitudinal de las placas porosas. De este modo, se forma un cuerpo estructural que se puede expandir como un panel.

20 En el documento WO96/35833 se da conocer un textil estructural de malla abierta compuesta unida. El textil está formado, por lo menos, por dos componentes poliméricos complementarios. Se utiliza como un elemento estructural de soporte de carga en aplicaciones exigentes de construcción para acondicionamiento de terrenos.

25 El documento DE 41 37 310 A1 da conocer una manta que está dispuesta en secciones de malla íntegramente de polímero termoplástico. La manta consiste, por lo menos, en dos filas que se cruzan una sobre otra, y en el punto de intersección las cintas y/o fibras se combinan.

BREVE DESCRIPCIÓN

30 En las formas de realización, se divulgan unas geoceldas que proporcionan una rigidez suficiente y que pueden aceptar altas tensiones sin deformación plástica. Dichas geoceldas son adecuadas para aplicaciones de soporte de carga tales como pavimentos, carreteras, vías férreas, zonas de aparcamiento, pistas de aeropuertos y zonas de almacenamiento. También se divulgan métodos para obtener y utilizar dichas geoceldas.

35 La invención se refiere a una geocelda formada por bandas poliméricas, presentando por lo menos una banda polimérica un módulo de almacenamiento de 500 MPa o superior cuando se mide en la dirección de la máquina mediante un análisis mecánico dinámico (DMA) según la norma ASTM D4065 a 23 °C y a una frecuencia de 1 Hz.

40 Dicha por lo menos una banda polimérica puede presentar un módulo de almacenamiento de 700 MPa o superior, incluyendo un módulo de almacenamiento de 1000 MPa o superior.

45 Dicha por lo menos una banda polimérica puede presentar una tensión a deformación del 12% de 14,5 MPa o superior cuando se mide según el procedimiento de Izhar a 23 °C, incluyendo una tensión a deformación del 12% de 16 MPa o superior o una tensión a deformación del 12% de 18 MPa o superior.

50 Dicha por lo menos una banda polimérica puede presentar un coeficiente de expansión térmica de $120 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ o inferior a 25 °C según la norma ASTM D696.

55 La geocelda puede utilizarse en una capa de un pavimento, carretera, vía férrea o zona de aparcamiento. La geocelda puede llenarse con un material granular seleccionado de entre el grupo que consiste en arena, grava, piedra triturada, balasto, desechos de cantera, hormigón triturado, asfalto reciclado, ladrillos triturados, escombros y residuos de construcción, vidrio triturado, cenizas de central eléctrica, cenizas volantes, cenizas de carbón, escoria de alto horno de hierro, escoria de fabricación de cemento, escoria de acero, y mezclas de los mismos.

60 En otras formas de realización, se divulga una geocelda formada por bandas poliméricas, presentando por lo menos una banda polimérica un módulo de almacenamiento de 150 MPa o superior cuando se mide en la dirección de la máquina mediante un análisis mecánico dinámico (DMA) según la norma ASTM D4065 a 63 °C y a una frecuencia de 1 Hz.

65 Dicha por lo menos una banda polimérica puede presentar un módulo de almacenamiento de 250 MPa o superior, incluyendo un módulo de almacenamiento de 400 MPa o superior.

Aún en otras formas de realización se da a conocer una geocelda formada por bandas poliméricas, presentando por lo menos una banda polimérica una tensión de diseño a largo plazo de 2,6 MPa o superior, cuando se mide según el procedimiento de SIM de PRS.

Dicha por lo menos una banda polimérica puede tener una tensión de diseño a largo plazo de 3 MPa o mayor, incluyendo una tensión de diseño a largo plazo de 4 MPa o mayor.

Estas y otras realizaciones se describen con mayor detalle a continuación.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

5 A continuación se facilita una breve descripción de los dibujos, que se presentan para los fines de ilustrar las formas de realización a modo de ejemplo divulgadas en la presente memoria y no para los fines de limitar la misma.

La figura 1 es una vista en perspectiva de una geocelda.

10 La figura 2 es un diagrama que muestra una forma de realización a modo de ejemplo de una banda polimérica utilizada en las geoceldas de la presente divulgación.

La figura 3 es un diagrama que muestra una forma de realización a modo de ejemplo de una banda polimérica utilizada en las geoceldas de la presente divulgación.

15 La figura 4 es un diagrama que muestra una forma de realización a modo de ejemplo de una banda polimérica utilizada en las geoceldas de la presente divulgación.

20 La figura 5 es un gráfico que compara los resultados de tensión-deformación de diversas celdas de la presente divulgación frente a un ejemplo comparativo.

La figura 6 es un gráfico que muestra el diagrama de tensión-deformación para las geoceldas de la presente divulgación.

25 La figura 7 es un gráfico que muestra los resultados de una prueba de carga vertical para una celda a modo de ejemplo de la presente divulgación frente a un ejemplo comparativo.

La figura 8 es un gráfico del módulo de almacenamiento y tangente de delta frente a la temperatura para una banda de control.

30 La figura 9 es un gráfico del módulo de almacenamiento y tangente de delta frente a la temperatura para una banda polimérica utilizada en las geoceldas de la presente divulgación.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

35 La siguiente descripción detallada se proporciona para permitir que un experto ordinario en la materia realice y utilice las formas de realización divulgadas en la presente memoria y exponga los mejores modos contemplados de poner en práctica estas formas de realización. Sin embargo, diversas modificaciones seguirán siendo evidentes para los expertos habituales en la materia y deben considerarse como dentro del alcance de esta divulgación.

40 Puede obtenerse una comprensión más completa de los componentes, procedimientos y aparatos dados a conocer en la presente memoria haciendo referencia a los dibujos adjuntos. Estas figuras son meramente representaciones esquemáticas basadas en la conveniencia y facilidad de demostrar la presente divulgación y, por tanto, no se pretende que indiquen tamaños y dimensiones relativos de los dispositivos o componentes de los mismos y/o que definan o limiten el alcance de las formas de realización ejemplificativas.

45 La figura 1 es una vista en perspectiva de una geocelda de una sola capa. La geocelda -10- comprende una pluralidad de bandas poliméricas -14-. Las bandas adyacentes se unen entre sí mediante juntas físicas diferenciadas -16-. La unión puede realizarse mediante adhesión, cosido o soldadura, pero generalmente se realiza mediante soldadura. La parte de cada banda entre dos juntas -16- forma una pared -18- de celda de una celda -20- individual.
 50 Cada celda -20- presenta unas paredes de celda compuestas por dos bandas poliméricas diferentes. Las bandas -14- están unidas entre sí para formar un patrón en panal de abeja a partir de la pluralidad de bandas. Por ejemplo, la banda exterior -22- y la banda interior -24- están unidas entre sí mediante juntas físicas -16- que están separadas regularmente a lo largo de la longitud de las bandas -22- y -24-. Un par de bandas interiores -24- están unidas entre sí mediante juntas físicas -32-. Cada junta -32- está entre dos juntas -16-. Como resultado, cuando se estira la pluralidad de bandas -14- en una dirección perpendicular a las caras de las bandas, las bandas se curvan de manera sinusoidal para formar la geocelda -10-. En el borde de la geocelda donde se encuentran los extremos de dos bandas poliméricas -22-, -24-, se obtiene una soldadura -26- de extremo (también considerada una junta) a corta distancia del extremo -28- para formar una cola -30- corta que estabiliza las dos bandas poliméricas -22-, -24-.

60 Las geoceldas de la presente divulgación están compuestas por bandas poliméricas que presentan determinadas propiedades físicas. En particular, la banda polimérica presenta una tensión a la fluencia, o a deformación del 12% cuando la banda polimérica no presenta límite de fluencia, de 14,5 MPa o superior cuando se mide en la dirección de la máquina (perpendicular al plano de uniones en la celda de geocelda) a una velocidad de deformación del 20%/minuto o 150%/minuto. En otras formas de realización, la banda polimérica presenta una deformación del 10% o inferior a una tensión de 14,5 MPa, cuando se mide tal como se describe. En otras palabras, la banda polimérica puede resistir tensiones de 14 MPa o superior sin alcanzar su límite de fluencia. Otros sinónimos para el límite de
 65

fluencia incluyen la tensión a la fluencia, el límite elástico o el límite plástico. Cuando la banda polimérica no presenta límite de fluencia, la tensión se considera a deformación del 12%. Estas mediciones se refieren a las propiedades de tracción de la banda polimérica en la dirección de la máquina, a 23 °C, no a sus propiedades de flexión.

5 Puesto que muchas geoceldas están perforadas, la medición de la tensión y la deformación según las normas ASTM D638 o ISO 527 generalmente es imposible. Por tanto, las mediciones se toman según el siguiente procedimiento, que es una versión modificada de dichas normas y se denomina en la presente memoria “el procedimiento de Izhar”. Se toma como muestra una banda de 50 mm de largo y 10 mm de ancho en la dirección paralela al nivel del suelo y perpendicular al plano de uniones de la celda (es decir en la dirección de la máquina). La banda está pinzada de modo que la distancia entre las pinzas es de 30 mm. A continuación, se estira la banda alejando las pinzas entre sí a una velocidad de 45 milímetros (mm) por minuto, lo que se traduce en una velocidad de deformación del 150%/minuto, a 23 °C. Se monitoriza la carga proporcionada por la banda en respuesta a dicha deformación por una celda de carga. Se calcula la tensión (N/mm²) a diferentes deformaciones (la deformación es el aumento de longitud, dividido entre la longitud original). Se calcula la tensión dividiendo la carga a deformación específica entre la sección transversal nominal original (la anchura de la banda multiplicada por el grosor de la banda). Puesto que la superficie de la banda de geocelda habitualmente está texturizada, el grosor de la muestra se mide simplemente como la distancia de “pico a pico”, promediada entre tres puntos en la banda. (Por ejemplo, una banda, que presenta un rombo estampado en relieve como textura, y que presenta una distancia entre la textura superior del lado superior y la textura inferior del lado inferior de 1,5 mm, se considera como un grosor de 1,5 mm.) Esta velocidad de deformación del 150%/minuto es más relevante para pavimentos y vías férreas, donde cada ciclo de carga es muy corto.

En otras formas de realización, la banda polimérica puede caracterizarse por presentar:

- 25 una deformación de como máximo el 1,9% a una tensión de 8 MPa;
- una deformación de como máximo el 3,7% a una tensión de 10.8 MPa;
- 30 una deformación de como máximo el 5,5% a una tensión de 12.5 MPa;
- una deformación de como máximo el 7,5% a una tensión de 13.7 MPa;
- una deformación de como máximo el 10% a una tensión de 14.5 MPa;
- 35 una deformación de como máximo el 11% a una tensión de 15,2 MPa; y
- una deformación de como máximo el 12,5% a una tensión de 15.8 MPa.

40 La banda polimérica también puede presentar, opcionalmente, una deformación de como máximo el 14% a una tensión de 16,5 MPa; y/o una deformación de como máximo el 17% a una tensión de 17,3 MPa.

En otras formas de realización, la banda polimérica puede caracterizarse por presentar una tensión de por lo menos 14,5 MPa a una deformación del 12%; una tensión de por lo menos 15,5 MPa a una deformación del 12%; y/o una tensión de por lo menos 16,5 MPa a una deformación del 12%.

45 Según la invención, la banda polimérica puede caracterizarse por presentar un módulo de almacenamiento de 500 MPa o superior a 23 °C, medido en la dirección de la máquina mediante un análisis mecánico dinámico (DMA) a una frecuencia de 1 Hz. Al igual que con la medición de tensión de tracción-deformación, el grosor para el análisis de DMA se toma como la distancia de “pico a pico”, promediada entre tres puntos. Las mediciones de DMA descritas en

50 la presente divulgación se realizan según la norma ASTM D4065.

En otras formas de realización, la banda polimérica puede caracterizarse por presentar un módulo de almacenamiento de 250 MPa o superior a 50 °C, medido en la dirección de la máquina mediante un análisis mecánico dinámico (DMA) a una frecuencia de 1 Hz.

55 En otras formas de realización, la banda polimérica puede caracterizarse por presentar un módulo de almacenamiento de 150 MPa o superior a 63 °C, medido en la dirección de la máquina mediante un análisis mecánico dinámico (DMA) a una frecuencia de 1 Hz.

60 En otras formas de realización, la banda polimérica puede caracterizarse por presentar una tangente de delta de 0,32 o inferior a 75 °C, medida en la dirección de la máquina mediante un análisis mecánico dinámico (DMA) a una frecuencia de 1 Hz. Estas propiedades nuevas son superiores a las propiedades de las geoceldas típicas de HDPE o MDPE.

65 El análisis mecánico dinámico (DMA) es una técnica utilizada para estudiar y caracterizar la naturaleza viscoelástica de los polímeros. Generalmente, se aplica una fuerza de oscilación a una muestra de material y se mide el

desplazamiento cíclico resultante de la muestra frente a la carga cíclica. Cuanto mayor sea la elasticidad, menor será el intervalo de tiempo (fase) entre la carga y el desplazamiento. A partir de esto, puede determinarse la rigidez pura (módulo de almacenamiento) de la muestra, así como el mecanismo de disipación (módulo de pérdida) y la razón entre ellos (tangente de delta). El DMA también se comenta en la norma ASTM. DMA es la tecnología del estado de la técnica cuando analiza (1) fenómenos que dependen del tiempo, tales como el corrimiento; o (2) fenómenos que dependen de la frecuencia, tales como la amortiguación, la carga cíclica o la fatiga, que son muy comunes en ingeniería del transporte.

Otro aspecto de la geocelda de la presente divulgación es su coeficiente de expansión térmica (CTE) inferior en relación con HDPE o MDPE actual. El CTE es importante porque la expansión/contracción durante el ciclado térmico es otro mecanismo que también proporciona tensiones circulares adicionales. HDPE y MDPE presentan un CTE de aproximadamente $200 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ a temperatura ambiental ($23 ^\circ\text{C}$), y este CTE es incluso superior a temperaturas mayores que la ambiental. La geocelda de la presente divulgación presenta un CTE de aproximadamente $150 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ o inferior a $23 ^\circ\text{C}$, y en formas de realización específicas de aproximadamente $120 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ o inferior a $23 ^\circ\text{C}$ cuando se mide según la norma ASTM D696. El CTE de la geocelda de la presente divulgación presenta una tendencia inferior a aumentar a temperaturas elevadas.

Otro aspecto de la geocelda de la presente divulgación es su tendencia de corrimiento inferior a carga constante. La tendencia de corrimiento inferior se mide según la prueba de corrimiento acelerada mediante el método isotérmico escalonado (SIM), tal como se describe en la norma ASTM 6992. En este método, se somete una muestra polimérica a una carga constante según un programa de temperatura escalonada (es decir, la temperatura se aumenta y se mantiene constante durante un periodo predefinido). Las etapas de temperatura elevada aceleran el corrimiento. La prueba del procedimiento de SIM se aplica a una muestra de 100 mm de ancho y longitud neta de 50 mm (distancia entre pinzas). La muestra se carga mediante una carga estática y se calienta según un procedimiento que comprende las etapas siguientes:

Etapa	T	Tiempo
	Celsius	Horas
0	23	0
1	30	3
2	37	3
3	44	3
4	51	3
5	58	3
6	65	3
7	72	3

Este procedimiento de SIM se denomina en la presente memoria "el procedimiento de SIM de PRS". Se mide la deformación plástica (aumento irreversible en la longitud, dividido entre la longitud inicial) al final del procedimiento. Se mide la deformación plástica frente a diferentes cargas, y la carga que provoca una deformación plástica del 10% o inferior se denomina la "carga de diseño a largo plazo". La tensión relacionada con la carga de diseño a largo plazo (dicha carga, dividida entre (anchura original multiplicada por la original)) es la "tensión de diseño a largo plazo" y proporciona la tensión circular permitida que la geocelda puede tolerar durante un largo periodo de tiempo bajo una carga estática.

Una geocelda de HDPE típica, cuando se somete al procedimiento de SIM de PRS, apenas puede proporcionar una tensión de diseño a largo plazo de 2,2 MPa.

En algunas formas de realización, la banda polimérica según la presente divulgación se caracteriza por una tensión de diseño a largo plazo de 2,6 MPa o superior, incluyendo una tensión de diseño a largo plazo de 3 MPa o superior, o incluso de 4 MPa o superior.

A diferencia de las geoceldas de HDPE, la geocelda de la presente divulgación puede proporcionar propiedades significativamente mejores de hasta el 16% de deformación y en algunas formas de realización de hasta el 22% de deformación. En particular, la geocelda puede responder elásticamente a tensiones mayores de 14,5 MPa, proporcionando así las propiedades requeridas para aplicaciones de soporte de carga. La respuesta elástica garantiza la recuperación completa a las dimensiones originales cuando se retire la carga. La geocelda proporcionará al relleno de una capacidad de soporte de carga superior y rebote aumentado para su diámetro original bajo cargas repetidas (es decir, cargas cíclicas). Además, la geocelda de la presente divulgación puede utilizarse con materiales granulares que generalmente no pueden utilizarse en capas de asiento y subbases, tal como se describe adicionalmente en la presente memoria. La geocelda de la presente divulgación también permite un soporte de carga y una resistencia a la fatiga mejores en condiciones húmedas, especialmente cuando se utilizan materiales granulares granulados finos.

La banda polimérica puede incluir un polímero de polietileno (PE), tal como HDPE, MDPE o LDPE, que se ha

modificado tal como se describe adicionalmente a continuación.

La banda polimérica también puede incluir un polímero de polipropileno (PP). Aunque la mayoría de los homopolímeros de PP son demasiado quebradizos y la mayoría de los copolímeros de PP son demasiado blandos para aplicaciones de soporte de carga, algunas calidades de polímeros de PP son útiles. Dichos polímeros de PP pueden ser lo suficientemente rígidos para la aplicación de soporte de carga, aunque lo suficientemente blandos para que la geocelda pueda plegarse. Los polímeros de polipropileno a modo de ejemplo aptos para la presente divulgación incluyen copolímeros al azar de polipropileno, copolímeros de impacto de polipropileno, combinaciones de polipropileno con o bien un monómero de etileno-propileno-dieno (EPDM) o un elastómero basado en copolímero de etileno-alfa-olefina y copolímeros de bloque de polipropileno. Dichos polímeros de PP están disponibles comercialmente como R338-02N de Dow Chemical Company; copolímero de impacto de calidad PP 71 EK71 PS de SABIC Innovative Plastics; y copolímero al azar PP RA1E10 de SABIC Innovative Plastics. Los elastómeros basados en copolímero de etileno-alfa-olefina a modo de ejemplo incluyen los elastómeros Exact® fabricados por Exxon Mobil y los elastómeros Tafmerr® fabricados por Mitsui. Puesto que los polímeros de PP son quebradizos a bajas temperaturas (inferiores a aproximadamente menos 20 °C) y tienden al corrimiento bajo cargas estáticas o cíclicas, las geoceldas de la presente divulgación que incorporan PP pueden presentar menos soporte de carga y ser más restringidas en cuanto a sus temperaturas de funcionamiento que las geoceldas de la presente divulgación que incorporan HDPE.

Los polímeros de PP y/o PE o cualquier otra composición polimérica según la presente divulgación se modifican generalmente, a través de diversos aditivos y/o procedimientos de tratamiento, para lograr las propiedades físicas requeridas. El tratamiento más eficaz es el tratamiento tras la extrusión, o bien aguas abajo de la máquina de extrusión, o bien en un procedimiento separado después. Habitualmente, los polímeros de cristalinidad inferior, tales como LDPE, MDPE y algunos polímeros de PP requerirán un procedimiento tras la extrusión tal como orientación, reticulación y/o recocido térmico, mientras que los polímeros de cristalinidad superior pueden extruirse como bandas y soldarse entre sí para formar una geocelda sin necesidad de aplicar tratamiento tras la extrusión.

En algunas formas de realización, la banda polimérica comprende una combinación (habitualmente como aleación compatibilizada) de (i) un polímero de alto rendimiento y (ii) un polímero de polietileno o polipropileno. La combinación es generalmente una combinación inmiscible (una aleación), en la que el polímero de alto rendimiento se dispersa en una matriz formada por el polímero de polietileno o polipropileno. Un polímero de alto rendimiento es un polímero que presenta (1) un módulo de almacenamiento de 1400 MPa o superior a 23 °C, medido en la dirección de la máquina mediante un análisis mecánico dinámico (DMA) a una frecuencia de 1 Hz según la norma ASTM D4065; o (2) una resistencia mecánica a la tracción final de por lo menos 25 MPa. Los polímeros de alto rendimiento a modo de ejemplo incluyen resinas de poliamida, resinas de poliéster y resinas de poliuretano. Los polímeros de alto rendimiento particularmente aptos incluyen poli(tereftalato de etileno) (PET), poliamida 6, poliamida 66, poliamida 6/66, poliamida 12, y copolímeros de los mismos. El polímero de alto rendimiento normalmente comprende desde aproximadamente el 5 hasta aproximadamente el 85 por ciento en peso de la banda polimérica. En formas de realización particulares, el polímero de alto rendimiento es desde aproximadamente el 5 hasta aproximadamente el 30 por ciento en peso de la banda polimérica, incluyendo desde aproximadamente el 7 hasta aproximadamente el 25 por ciento en peso.

Las propiedades de las bandas poliméricas pueden modificarse o bien antes de la formación de la geocelda (mediante la soldadura de las bandas) o bien después de la formación de la geocelda. Las bandas poliméricas se obtienen generalmente extruyendo una lámina de material polimérico y cortando bandas de dicha lámina de material polimérico, y la modificación se realiza generalmente en la lámina para obtener eficacia. La modificación puede realizarse en línea con el procedimiento de extrusión, una vez que se ha dado forma a la masa fundida como una lámina y la lámina se enfría hasta una temperatura inferior a la temperatura de fusión, o como procedimiento secundario una vez que la lámina se separa del troquel de la extrusora. La modificación puede realizarse tratando la lámina, las bandas y/o la geocelda mediante reticulación, cristalización, recocido, orientación, y combinaciones de los mismos.

Por ejemplo, puede estirarse una lámina que presenta de 5 a 500 cm de ancho (es decir orientación) a un intervalo de temperatura de desde aproximadamente 25 °C hasta aproximadamente 10 °C por debajo de la temperatura de fusión (T_m) máxima de la resina polimérica utilizada para obtener la lámina. El procedimiento de orientación cambia la longitud de la banda, por lo que la banda puede aumentar en longitud desde el 2% hasta el 500% en relación con su longitud original. Tras el estiramiento, puede recocerse la lámina. El recocido puede realizarse a una temperatura que es de 2 a 60 °C inferior a la temperatura de fusión (T_m) máxima de la resina polimérica utilizada para obtener la lámina. Por ejemplo, si se obtiene una lámina de HDPE, MDPE o PP, el estiramiento y/o el recocido se realiza a una temperatura de desde aproximadamente 24 °C hasta 150 °C. Si se somete a recocido una aleación polimérica, la temperatura de recocido es de 2 a 60 °C inferior a la temperatura de fusión (T_m) máxima de la fase de HDPE, MDPE o PP.

En algunas formas de realización específicas, se estira una lámina o banda polimérica hasta aumentar su longitud en un 50% (es decir, de modo que la longitud final sea del 150% de la longitud original). El estiramiento se realiza a una temperatura de aproximadamente 100-125 °C sobre la superficie de la lámina o banda polimérica. El grosor se

reduce en del 10% al 20% debido al estiramiento.

En otras formas de realización, se reticula una lámina o banda polimérica mediante irradiación con un haz de electrones tras la extrusión o mediante la adición de una fuente de radicales libres a la composición polimérica antes de la fusión o durante el amasado en estado fundido en la extrusora.

En otras formas de realización, las propiedades requeridas para la geocelda pueden obtenerse proporcionando bandas poliméricas de múltiples capas. En algunas formas de realización, las bandas poliméricas presentan por lo menos dos, tres, cuatro o cinco capas.

En algunas formas de realización tal como se muestra en la figura 2, la banda polimérica -100- presenta por lo menos dos capas -110-, -120-, en la que dos de las capas están compuestas por composiciones iguales o diferentes y por lo menos una capa está compuesta por un polímero de alto rendimiento o polímero compuesto que presenta (1) un módulo de almacenamiento de 1400 MPa o superior a 23 °C, medido en la dirección de la máquina mediante un análisis mecánico dinámico (DMA) a una frecuencia de 1 Hz según la norma ASTM D4065; o (2) una resistencia mecánica a la tracción final de por lo menos 25 MPa. En formas de realización, una capa comprende un polímero de alto rendimiento y la otra capa comprende un polímero de polietileno o polipropileno, que puede ser una combinación o aleación de un polímero de polietileno o polipropileno con otros polímeros, cargas, aditivos, fibras y elastómeros. Las resinas de alto rendimiento a modo de ejemplo incluyen poliamidas, poliésteres, poliuretanos; aleaciones de (1) poliamidas, poliésteres o poliuretanos con (2) LDPE, MDPE, HDPE o PP; y copolímeros, copolímeros de bloque, mezclas o combinaciones de dos cualquiera de los tres polímeros (poliamidas, poliésteres, poliuretanos).

En otras formas de realización tal como se muestra en la figura 3, la banda polimérica -200- presenta cinco capas. Dos de las capas son capas exteriores -210-, una capa es una capa de núcleo -230-, y las dos capas intermedias -220- unen la capa de núcleo a cada capa exterior (es decir, de modo que las capas intermedias sirven como capas de conexión). Esta banda de cinco capas puede formarse mediante coextrusión.

En otras formas de realización, la banda polimérica -200- presenta sólo tres capas. Dos de las capas son capas exteriores -210-, y la tercera capa es la capa de núcleo -230-. En esta realización, no están presentes las capas intermedias -220-. Esta banda de tres capas puede formarse mediante coextrusión.

Las capas exteriores pueden proporcionar resistencia frente a hidrólisis y degradación por luz ultravioleta, y presentan buena soldabilidad. La capa exterior puede estar compuesta por un polímero seleccionado de entre el grupo que consiste en HDPE, MDPE, LDPE, polipropileno, combinaciones de los mismos, y aleaciones de los mismos con otros compuestos y polímeros. Estos polímeros pueden combinarse con elastómeros, especialmente EPDM y copolímeros de etileno-alfa-olefina. La capa de núcleo y/o exterior también pueden estar compuestas por aleaciones de (1) HDPE, MDPE, LDPE o PP con (2) una poliamida o poliéster. Cada capa exterior puede presentar un grosor de desde aproximadamente 50 hasta aproximadamente 1500 micrómetros (micras).

Las capas intermedias (de conexión) pueden estar compuestas por copolímeros o terpolímeros de HDPE funcionalizados, copolímeros o terpolímeros de PP funcionalizados, un copolímero de etileno polar o un terpolímero de etileno polar. Generalmente, los copolímeros/terpolímeros de HDPE y PP contienen grupos laterales y/o grupos finales reactivos que permiten la formación de uniones químicas entre las capas intermedias (capas de conexión) y la capa exterior. Los grupos laterales reactivos a modo de ejemplo incluyen carboxilo, anhídrido, oxirano, amino, amido, éster, oxazolona, isocianato o combinaciones de los mismos. Cada capa intermedia puede presentar un grosor de desde aproximadamente 5 hasta aproximadamente 500 micrómetros. Las resinas de capa intermedia a modo de ejemplo incluyen las resinas Lotader® fabricadas por Arkema y las resinas Elvaloy®, Fusabond® o Surlyn® fabricadas por DuPont.

La capa de núcleo y/o exterior pueden comprender un poliéster y aleaciones del mismo con PE o PP, una poliamida y aleaciones de la misma con PE o PP, y combinaciones de poliéster y poliamida y aleaciones de las mismas con PE o PP. Las poliamidas a modo de ejemplo incluyen poliamida 6, poliamida 66 y poliamida 12. Los poliésteres a modo de ejemplo incluyen poli(tereftalato de etileno) (PET) y poli(tereftalato de butileno) (PBT). La capa de núcleo y/o exterior pueden presentar un grosor comprendido entre aproximadamente 50 y aproximadamente 2000 micrómetros.

En otras formas de realización tal como se muestra en la figura 4, la banda polimérica -300- presenta tres capas: una capa superior -310-, una capa central -320- y una capa inferior -330-. La capa superior es igual que la capa exterior descrita anteriormente; la capa central es igual que la capa intermedia descrita anteriormente; y la capa inferior es igual que la capa de núcleo descrita anteriormente.

Las geoceldas generalmente se estampan en relieve (se texturizan prensando la masa semisólida tras la extrusión contra un rodillo texturizado) para aumentar la fricción con el relleno granular o con el suelo. Las geoceldas también puede perforarse para mejorar la fricción con el relleno granular y el drenaje de agua. Sin embargo, tanto el estampado en relieve como la perforación reducen la rigidez y la resistencia mecánica de la geocelda. Puesto que

estas ayudas de fricción están habitualmente presentes, es necesario proporcionar resistencia mecánica y rigidez potenciadas a la geocelda, alterando su morfología y/o composición polimérica.

5 La banda polimérica puede comprender además aditivos para lograr las propiedades físicas requeridas. Tales aditivos pueden seleccionarse de, entre otros, agentes de nucleación, cargas, fibras, nanopartículas, estabilizadores frente a la luz con aminas impedidas (HALS), antioxidantes, absorbentes de luz UV y negro de carbono.

10 Las cargas pueden estar en forma de polvos, fibras o fibras cortas monocristalinas. Las cargas a modo de ejemplo incluyen un óxido de metal, tal como óxido de aluminio; un carbonato de metal, tal como carbonato de calcio, carbonato de magnesio o carbonato de calcio-magnesio; un sulfato de metal, tal como sulfato de calcio; un fosfato de metal; un silicato de metal (especialmente talco, caolín, mica o wollastonita; un borato de metal; un hidróxido de metal; una sílice; un silicato; un alumino-silicato; yeso; talco; dolomita; una fibra o fibra corta monocristalina orgánica o inorgánica; un metal; partículas inorgánicas recubiertas con metal; arcilla; caolín; ceniza industrial; polvo de hormigón; cemento; o mezclas de los mismos. En algunas formas de realización, la carga presenta un tamaño de
15 partícula promedio de menos de 10 micrómetros, y en algunas formas de realización, también presenta una razón de aspecto mayor que uno. En formas de realización específicas, la carga es mica, talco, caolín y/o wollastonita. En otras formas de realización, las fibras presentan un diámetro inferior a 1 micrómetro.

20 Pueden añadirse nanopartículas a la composición polimérica para diversos fines. Por ejemplo, las nanopartículas sólidas inorgánicas que absorben UV prácticamente no presentan movilidad y por tanto son muy resistentes frente a la lixiviación y/o la evaporación. Las nanopartículas sólidas que absorben UV también son transparentes en el espectro visible y se distribuyen muy uniformemente. Por tanto, proporcionan protección sin ninguna contribución al color o tono del polímero. Las nanopartículas que absorben UV a modo de ejemplo comprenden un material
25 seleccionado de entre el grupo que consiste en sales de titanio, óxidos de titanio, óxidos de zinc, haluros de zinc y sales de zinc. En formas de realización particulares, las nanopartículas que absorben UV son dióxido de titanio. Ejemplos de partículas que absorben UV disponibles comercialmente son SACHTLEBEN™ Hombitec RM 130F TN, de Sachtleben, óxido de zinc ZANO™ de Umicore, óxido de zinc NanoZ™ de Advanced Nanotechnology Limited y óxido de zinc AdNano™ de Degussa.

30 Las bandas poliméricas de las que está formada la geocelda se obtienen mediante diversos procedimientos. Generalmente, el procedimiento comprende fundir una composición polimérica, extruir la composición a través de un troquel de extrusora como una lámina fundida, formar y opcionalmente texturizar la lámina resultante, tratar la lámina según sea necesario para obtener las propiedades deseadas, cortar la lámina para dar bandas, y soldar, coser, unir o remachar las bandas formadas a partir de la lámina entre sí para dar una geocelda. En primer lugar, se amasan en
35 estado fundido los diversos componentes, tales como las resinas poliméricas y cualquier aditivo deseado, habitualmente en una extrusora o co-amasadora. Esto puede realizarse, por ejemplo, en una extrusora, tal como una extrusora de doble husillo o extrusora de un solo husillo con suficientes elementos de mezclado, lo que proporciona el calor y cizallamiento necesarios con degradación mínima para el polímero. La composición se amasa en estado fundido de modo que cualquier aditivo se dispersa completamente. A continuación, se extruye la composición a
40 través de un troquel y se prensa entre calandrias de metal para dar una forma de lámina. Los tratamientos a modo de ejemplo proporcionados aguas abajo del troquel de extrusora incluyen texturizar la superficie de la lámina, perforar la lámina, orientación (unidireccional o bidireccional), irradiación con haz de electrones o rayos X y recocido térmico. En algunas formas de realización, la lámina se trata con calor para aumentar la cristalinidad y para reducir las tensiones internas. En otras formas de realización, la lámina se trata para inducir reticulación en la resina
45 polimérica por medio de haz de electrones, rayos X, tratamiento con calor, y combinaciones de los mismos. También se contemplan combinaciones de los tratamientos anteriores.

50 Pueden formarse bandas a partir de la lámina resultante y soldarse, coserse o unirse entre sí para formar una geocelda. Tales métodos se conocen en la técnica. La geocelda resultante puede conservar su rigidez bajo ciclos de carga sostenidos a lo largo de periodos prolongados de tiempo.

55 Las geoceldas de la presente divulgación son útiles para aplicaciones de soporte de carga para las que no pueden utilizarse las geoceldas actuales. En particular, las presentes geoceldas también pueden utilizar materiales de relleno que normalmente no son aptos para aplicaciones de soporte de carga para capas de asiento, subbases y subsuelos.

60 En particular, las geoceldas de la presente divulgación permiten la utilización de materiales para el relleno que anteriormente no eran aptos para su utilización en aplicaciones de soporte de carga, tales como capas de asiento y subbases, debido a su rigidez insuficiente y resistencia a la fatiga relativamente escasa (en los materiales granulares, la resistencia a la fatiga también se conoce como módulo de resiliencia). Los materiales de relleno granulares a modo de ejemplo que pueden utilizarse ahora incluyen desechos de cantera (la fracción fina que queda tras la clasificación de materiales granulares de buena calidad), hormigón triturado, asfalto reciclado, ladrillos triturados, escombros y residuos de construcción, vidrio triturado, cenizas de central eléctrica, cenizas volantes, cenizas de carbón, escoria de alto horno de hierro, escoria de fabricación de cemento, escoria de acero, y mezclas
65 de los mismos.

La presente divulgación se ilustrará adicionalmente en los siguientes ejemplos de trabajo no limitativos, entendiéndose que se pretende que estos ejemplos sean únicamente ilustrativos y que no se pretende que la divulgación se limite a los materiales, condiciones, parámetros de procedimiento y similares citados en la presente memoria.

EJEMPLOS

Se obtuvieron algunas geoceldas y se sometieron a prueba para determinar su respuesta de tensión-deformación, propiedades de DMA y su impacto sobre la capacidad de soporte de material granular.

En general, las propiedades de tensión de tracción-deformación se midieron mediante el procedimiento de Izhar descrito anteriormente.

Se midió la carga a diferentes desviaciones o se tradujo en Newtons (N). La desviación se mide o se traduce en milímetros (mm). La tensión se calculó dividiendo la carga a una desviación específica entre la reticulación original de la banda (anchura original multiplicada por grosor original, donde el grosor es la distancia de pico a pico nominal entre la cara superior y la cara inferior). La deformación (%) se calculó dividiendo la desviación específica (mm) entre la longitud original (mm) y multiplicando por 100.

EJEMPLO COMPARATIVO 1

Se obtuvo una geocelda compuesta por polietileno de alta densidad (HDPE) disponible comercialmente de Presto Geosystems (Wisconsin, EE.UU.) y se sometieron a prueba sus propiedades. El grosor promedio de la pared de celda fue de 1,5 mm y la banda presentaba una textura de rombo como celdas verticales. La geocelda no se perforó. Su respuesta de tensión-deformación según el procedimiento de Izhar y se muestra en la tabla 1.

Tabla 1.

Tensión (MPa)	7,874	10,499	12,336	13,386	13,911	14	14	14
Deformación (%)	2	4	6	8	10	12	14	16

A deformación de aproximadamente el 8% y una tensión de aproximadamente 13,4 MPa, el ejemplo comparativo comenzó a experimentar deformación plástica intensa y realmente alcanzó su límite de fluencia aproximadamente a una deformación del 8%. En otras palabras, tras la liberación de tensión, la muestra no recuperó su longitud original, sino que se mantuvo más larga permanentemente (deformaciones residuales permanentes). Este fenómeno es indeseable para sistemas de confinamiento celular para aplicaciones de soporte de carga (especialmente los sometidos a muchos ciclos (10.000-1.000.000 y más ciclos durante el ciclo de vida del producto) y es el motivo para el escaso rendimiento de las geoceldas de HDPE como soportes de carga para pavimentos y vías férreas.

EJEMPLO 1

Se extruyó una banda de HDPE y se grabó en relieve para proporcionar una textura similar a la del ejemplo comparativo 1. La banda presentaba un grosor de 1,7 mm, y entonces se estiró a una temperatura de 100 °C (sobre la superficie de la banda) de modo que la longitud se aumentó en el 50% y el grosor se redujo en el 25%. Se midió la respuesta de tensión-deformación de esta banda de HDPE según el procedimiento de Izhar y se muestra en la tabla 2.

Tabla 2.

Tensión (MPa)	8	10,8	12,5	13,7	14,5	15,2	15,8	16,5	17,3
Deformación (%)	1,9	3,3	4,8	6	6,6	7,6	8,8	10,5	12

La banda del ejemplo 1 mantuvo una respuesta elástica hasta una deformación del 12% sin un límite de fluencia y sin alcanzar su límite plástico y a tensiones mayores de 17 MPa. La recuperación de las dimensiones iniciales, tras la liberación de la carga, fue próxima al 100%.

EJEMPLO 2

Se extruyó una composición de aleación polimérica de alto rendimiento que comprendía el 12% en peso de poliamida 12, el 10% en peso de poli(tereftalato de butileno), el 5% de polietileno injertado con compatibilizador de anhídrido maleico (Bondyram® 5001 fabricado por Polyram) y el 73% de HDPE para formar una lámina texturizada de 1,5 mm de grosor. Se midió la respuesta de tensión-deformación de una banda formada a partir de la composición según el procedimiento de Izhar y se muestra en la tabla 3.

Tabla 3.

Tensión (MPa)	8	10,8	12,5	13,7	14,5	15,2	15,8	16,5	17,3
Deformación (%)	1,9	3,6	5,2	6,8	7,9	8,9	10	12	14

La banda del ejemplo 2 mantuvo una respuesta elástica hasta una deformación del 14% y a tensiones mayores de 17 MPa, sin un límite de fluencia y sin alcanzar su límite plástico. La recuperación de las dimensiones iniciales, tras la liberación de la carga, fue próxima al 100%.

La figura 5 es un gráfico que muestra los resultados de tensión-deformación para el ejemplo comparativo 1, el ejemplo 1 y el ejemplo 2. Se ha añadido un punto adicional a (0,0) para cada resultado. Tal como puede observarse, el ejemplo 1 y el ejemplo 2 no presentaron un límite de fluencia marcado y mantuvieron el aumento en la tensión sin fluencia hasta una deformación del 12-14% a tensiones mayores de 17 MPa, mientras que el ejemplo comparativo 1 alcanzó su límite de fluencia a una deformación del 8-10% y una tensión de aproximadamente 14 MPa. Esto se traduce en un mayor intervalo en que se mantiene una respuesta elástica. El hecho de que no se observara límite de fluencia para el ejemplo 1 y el ejemplo 2 es importante cuando se esperan cargas cíclicas y la capacidad para volver a las dimensiones originales (y por tanto, el confinamiento de relleno máximo) es crucial.

La figura 6 es un gráfico que muestra la diferencia entre el resultado de tensión-deformación del ejemplo comparativo 1 y una banda polimérica de la presente divulgación que se caracteriza por presentar una deformación de como máximo el 1,9% a una tensión de 8 MPa; una deformación de como máximo el 3,7% a una tensión de 10,8 MPa; una deformación de como máximo el 5,5% a una tensión de 12,5 MPa; una deformación de como máximo el 7,5% a una tensión de 13,7 MPa; una deformación de como máximo el 10% a una tensión de 14,5 MPa; una deformación de como máximo el 11% a una tensión de 15,2 MPa; una deformación de como máximo el 12,5% a una tensión de 15,8 MPa; una deformación de como máximo el 14% a una tensión de 16,5 MPa; y una deformación de como máximo el 17% a una tensión de 17,3 MPa. El área de la izquierda de la línea discontinua define las combinaciones de tensión-deformación según la presente divulgación.

EJEMPLO 3

Se sometieron a prueba dos celdas para demostrar la mejora en el refuerzo del material granular y la capacidad de soporte de carga aumentada. Estas celdas eran una celda individual, no una geocelda completa. Como control, se utilizó una celda correspondiente al ejemplo **comparativo 1**. Para la comparación, se obtuvo una celda a partir de una composición según el ejemplo 2, se texturizó y presentó un grosor de 1,5 mm.

Las paredes de cada celda presentaban 10 cm de alto, 33 cm entre uniones, estaban grabadas en relieve, no perforadas y presentaban un grosor de 1,5 mm. La celda estaba abierta de modo que su "radio" largo era de aproximadamente 260 mm y su radio corto era de aproximadamente 185 mm. Se llenó con arena una caja de arena de 800 mm de longitud y 800 mm de anchura hasta una profundidad de 20 mm. La distribución de gradación de arena se facilita en la tabla 4.

Tabla 4.

Apertura de tamiz (mm)	0,25	0,5	0,75	1	2	4
% de paso acumulativo	10-20	35-55	50-70	60-80	80-90	90-100

Se colocó la celda sobre la superficie de esta arena y se llenó con la misma arena. La celda expandida presentaba una forma aproximadamente elíptica, de aproximadamente 260 mm en el eje largo y aproximadamente 180 mm en el eje corto. A continuación, se colocó arena adicional en la caja de arena para rodear la celda y enterrar la celda de modo que una capa superior de 25 mm cubriera la celda. Entonces se compactó la arena hasta una densidad relativa del 70%.

Se colocó un pistón de 150 mm de diámetro por encima del centro de la celda y se aumentó la carga para proporcionar presión sobre la superficie de arena en incrementos de 50 kPa (es decir, se aumentó la presión cada 1 minuto en 50 KPa). Se midieron la desviación (penetración del pistón en la arena confinada) y la presión (carga vertical dividida entre el área del pistón).

Se utilizó el pistón sobre (1) arena solo; (2) una celda del ejemplo comparativo 1; y (3) una celda del ejemplo 2. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5.

Carga vertical (kPa)	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
Desviación en arena solo (mm)	1	2	3	>10	>15	>20	>20	>20	>20	>20
Desviación con celda del ejemplo comparativo 1 (mm)	0,7	1,3	2	2,5	3	4	5	>10	>15	>20
Desviación con celda del ejemplo comparativo 2 (mm)	0,6	1	1,1	1,7	2	2,5	2,9	4	5	7

La celda del ejemplo 2 continuó comportándose elásticamente a presiones mayores de 400 kPa, mientras que la

celda del ejemplo comparativo 1 no. Debido a la fluencia de la pared de HDPE, se observó escaso confinamiento en la celda del ejemplo comparativo 1. El límite de fluencia para el ejemplo comparativo 1 fue a presión vertical de aproximadamente 250 KPa, y si se calcula la tensión circular promedio (el diámetro promedio de celda es de 225 mm) a esa presión vertical, se obtiene un valor de aproximadamente 13,5 MPa. Este número presenta una concordancia muy buena con los valores de límite de fluencia obtenidos mediante las mediciones de tracción de tensión-deformación según el procedimiento de Izhar. Los resultados mostraron que había una correlación fuerte y significativa entre la rigidez y la resistencia a la fluencia (capacidad para portar tensiones circulares mayores de 14 MPa) y la capacidad para soportar una gran carga vertical. Debe observarse que esta prueba sólo proporcionó una sola carga, mientras que en aplicaciones prácticas la carga que va a soportarse es cíclica. Como resultado, la resistencia a la deformación plástica es muy importante y no estaba presente en la celda del ejemplo comparativo 1.

La figura 7 es un gráfico que muestra los resultados en la tabla 5. La diferencia en resistencia a la penetración (es decir, lo bien que la celda soportó la carga vertical) es muy clara.

EJEMPLO 4

Se obtuvo una banda polimérica según el ejemplo 2.

Como control, se proporcionó una banda de HDPE de 1,5 mm de grosor según el ejemplo comparativo 1.

A continuación, se analizaron las dos bandas mediante un análisis mecánico dinámico (DMA) a una frecuencia de 1 Hz según la norma ASTM D4065. Se sometió a prueba la banda de HDPE de control a lo largo de un intervalo de temperatura de aproximadamente -150 °C a aproximadamente 91 °C. Se calentó la banda de control a 5 °C/min y se midieron la fuerza, el desplazamiento, el módulo de almacenamiento y la tangente de delta. Se sometió a prueba la banda polimérica del ejemplo 2 a lo largo de un intervalo de temperatura de aproximadamente -65 °C a aproximadamente 120 °C. Se calentó la banda de control a 5 °C/min y se midieron la fuerza, el desplazamiento, el módulo de almacenamiento y la tangente de delta.

La figura 8 es un gráfico del módulo de almacenamiento (elástico) y la tangente de delta frente a la temperatura para la banda de HDPE de control.

La figura 9 es un gráfico del módulo de almacenamiento (elástico) y la tangente de delta frente a la temperatura para la banda polimérica del ejemplo 2.

El módulo de almacenamiento del HDPE disminuyó más rápidamente que el módulo de almacenamiento del ejemplo 2. El módulo de almacenamiento para la banda del ejemplo 2 fue casi tres veces superior al módulo de almacenamiento para la banda de HDPE a 23 °C. Para obtener el mismo módulo de almacenamiento que presentaba la banda de HDPE a 23 °C, la banda del ejemplo 2 tuvo que calentarse hasta casi 60 °C, es decir la banda del ejemplo 2 mantuvo mejor su módulo de almacenamiento.

La tangente de delta para la banda de HDPE aumentó exponencialmente partiendo de aproximadamente 75 °C, lo que indica una pérdida de elasticidad (es decir, el material se vuelve demasiado plástico y no conservaría suficiente rigidez y elasticidad), de modo que la banda era viscosa y plástica. Esto no es deseable, ya que las geoceldas pueden calentarse aun cuando se coloquen de manera subterránea (tal como en una carretera). La tangente de delta para la banda del ejemplo 2 mantuvo sus propiedades a temperaturas de hasta 100 °C. Esta propiedad es deseable ya que proporciona un factor de seguridad adicional. Puesto que el rendimiento a temperaturas elevadas es un modo de predecir el rendimiento a largo plazo a temperaturas moderadas (tal como se describe en la norma ASTM 6992), el hecho de que HDPE comience a perder su elasticidad y por tanto su potencial de soporte de carga a aproximadamente 75 °C en el plazo de segundos, proporciona cierta percepción sobre su escasa resistencia al corrimiento y tendencia a deformarse plásticamente. A diferencia de HDPE, la composición según la presente divulgación, mantiene su elasticidad (baja tangente de delta) a temperaturas muy altas, sugiriendo por tanto que presenta el potencial de conservar sus propiedades durante muchos años y muchos ciclos de carga.

EJEMPLO 5

Se sometieron a prueba tres bandas según el procedimiento de SIM de PRS para determinar su tensión de diseño a largo plazo (LTDS). Como control, se obtuvo una banda de HDPE según el ejemplo comparativo 1. La primera banda de prueba fue una obtenida según el ejemplo 2. La segunda banda de prueba fue una obtenida según el ejemplo 2, entonces se orientó a 115 °C para aumentar su longitud original en el 40%). Los resultados se muestran en la tabla 6 a continuación.

Tabla 6.

Geocelda	Ejemplo comparativo 1	Ejemplo 2	Ejemplo orientado 2
LTDS (MPa)	2,2	3	3,6

Tal como puede observarse en este caso, el ejemplo 2 y el ejemplo orientado 2 tuvieron ambos LTDS superiores en

comparación con el ejemplo comparativo 1.

5 Aunque se han descrito formas de realización particulares, a los solicitantes u otros expertos en la materia pueden ocurrírseles alternativas, modificaciones, variaciones, mejoras y equivalentes sustanciales que se prevén o pueden preverse actualmente. Por consiguiente, se pretende que las reivindicaciones adjuntas tal como se presentan y tal como pueden modificarse abarquen dichas alternativas, modificaciones variaciones, mejoras y equivalentes sustanciales.

10 La presente invención se refiere asimismo a las siguientes realizaciones. En una realización, la invención proporciona una geocelda formada por bandas poliméricas, presentando por lo menos una banda polimérica un módulo de almacenamiento de 150 MPa o superior cuando se mide en la dirección de la máquina mediante un análisis mecánico dinámico (DMA) según la norma ASTM D4065 a 63 °C y a una frecuencia de 1 Hz.

15 En otra realización, la invención da a conocer una geocelda formada por bandas poliméricas, presentando por lo menos una banda polimérica un módulo de almacenamiento de 150 MPa o superior cuando se mide en la dirección de la máquina mediante un análisis mecánico dinámico (DMA) según la norma ASTM D4065 a 63 °C y a una frecuencia de 1 Hz, en la que dicha por lo menos una banda polimérica tiene un módulo de almacenamiento de 250 MPa o mayor.

20 En otra realización, la invención da a conocer una geocelda formada por bandas poliméricas, presentando por lo menos una banda polimérica un módulo de almacenamiento de 150 MPa o superior cuando se mide en la dirección de la máquina mediante un análisis mecánico dinámico (DMA) según la norma ASTM D4065 a 63 °C y a una frecuencia de 1 Hz, en la que dicha por lo menos una banda polimérica tiene un módulo de almacenamiento de 400 MPa o mayor.

25 En otra realización, la invención da a conocer una geocelda formada por bandas poliméricas, presentando por lo menos una banda polimérica un módulo de almacenamiento de 150 MPa o superior cuando se mide en la dirección de la máquina mediante un análisis mecánico dinámico (DMA) según la norma ASTM D4065 a 63 °C y a una frecuencia de 1 Hz, en la que dicha por lo menos una banda polimérica tiene una tensión a deformación del 12% de 14,5 MPa o mayor cuando se mide según el procedimiento de Izhar a 23 °C.

30 En otra realización, la invención da a conocer una geocelda formada por bandas poliméricas, presentando por lo menos una banda polimérica un módulo de almacenamiento de 150 MPa o superior cuando se mide en la dirección de la máquina mediante un análisis mecánico dinámico (DMA) según la norma ASTM D4065 a 63 °C y a una frecuencia de 1 Hz, en la que dicha por lo menos una banda polimérica tiene una tensión a deformación del 12% de 16 MPa o mayor cuando se mide según el procedimiento de Izhar a 23 °C.

35 En otra realización, la invención da a conocer una geocelda formada por bandas poliméricas, presentando por lo menos una banda polimérica un módulo de almacenamiento de 150 MPa o superior cuando se mide en la dirección de la máquina mediante un análisis mecánico dinámico (DMA) según la norma ASTM D4065 a 63 °C y a una frecuencia de 1 Hz, en la que dicha por lo menos una banda polimérica tiene una tensión a deformación del 12% de 18 MPa o mayor cuando se mide según el procedimiento de Izhar a 23 °C.

40 En otra forma de realización más, la invención da a conocer una geocelda formada por bandas poliméricas, presentando por lo menos una banda polimérica una tensión de diseño a largo plazo de 2,6 MPa o superior, cuando se mide según el procedimiento de SIM de PRS.

45 En otra realización, la invención da a conocer una geocelda formada por bandas poliméricas, presentando por lo menos una banda polimérica una tensión de diseño a largo plazo de 2,6 MPa o superior, cuando se mide según el procedimiento de SIM de PRS, en la que dicha por lo menos una banda polimérica tiene una tensión de diseño a largo plazo de 3 MPa o superior, cuando se mide según el procedimiento de SIM de PRS

50 En otra realización, la invención da a conocer una geocelda formada por bandas poliméricas, presentando por lo menos una banda polimérica una tensión de diseño a largo plazo de 2,6 MPa o superior, cuando se mide según el procedimiento de SIM de PRS, en la que dicha por lo menos una banda polimérica tiene una tensión de diseño a largo plazo de 4 MPa o superior, cuando se mide según el procedimiento de SIM de PRS.

55 En otra realización, la invención da a conocer una geocelda formada por bandas poliméricas, presentando por lo menos una banda polimérica una tensión de diseño a largo plazo de 2,6 MPa o superior, cuando se mide según el procedimiento de SIM de PRS, en la que dicha por lo menos una banda polimérica tiene una tensión a deformación del 12% de 14,5 MPa o superior cuando se mide según el procedimiento de Izhar a 23 °C.

60 En otra realización, la invención da a conocer una geocelda formada por bandas poliméricas, presentando por lo menos una banda polimérica una tensión de diseño a largo plazo de 2,6 MPa o superior, cuando se mide según el procedimiento de SIM de PRS, en la que dicha por lo menos una banda polimérica tiene una tensión a deformación del 12% de 16 MPa o superior cuando se mide según el procedimiento de Izhar a 23 °C.

65

5 En otra realización, la invención da a conocer una geocelda formada por bandas poliméricas, presentando por lo menos una banda polimérica una tensión de diseño a largo plazo de 2,6 MPa o superior, cuando se mide según el procedimiento de SIM de PRS, en la que dicha por lo menos una banda polimérica tiene una tensión a deformación del 12% de 18 MPa o superior cuando se mide según el procedimiento de Izhar a 23 °C.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Geocelda (10) formada por bandas poliméricas (14), **caracterizada por**, como mínimo, una banda polimérica modificada (14) que tiene un módulo de almacenamiento de 500 MPa o mayor cuando se mide en la dirección de la máquina mediante análisis mecánico dinámico (DMA) según la norma ASTM D4065 a 23 °C y a una frecuencia de 1 Hz.
- 10 2. Geocelda (10), según la reivindicación 1, teniendo dicha por lo menos una banda polimérica (14) un módulo de almacenamiento de 150 MPa o mayor cuando se mide en la dirección de la máquina mediante análisis mecánico dinámico (DMA) según la norma ASTM D4065 a 63 °C y a una frecuencia de 1 Hz.
- 15 3. Geocelda (10), según la reivindicación 1, teniendo dicha por lo menos una banda polimérica (14) una tensión de diseño a largo plazo de 2,6 MPa o mayor, cuando se mide según el procedimiento SIM de PRS.
- 20 4. Geocelda (10), según la reivindicación 1, 2 o 3, en la que dicha por lo menos una banda polimérica (14) tiene una tensión a deformación del 12 % de 14,5 MPa o mayor, cuando se mide según el procedimiento de Izhar a 23 °C.
- 25 5. Geocelda (10), según la reivindicación 1, 2 ó 3, en la que dicha por lo menos una banda polimérica tiene un coeficiente de expansión térmica de $120 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ o menor a 25 °C según la norma ASTM D696.
- 30 6. Geocelda (10), según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que dicha por lo menos una banda polimérica comprende polímero de polietileno o polímero de polipropileno.
7. Pavimento, carretera, vía férrea o zona de aparcamiento, que comprende por lo menos una capa que comprende la geocelda según la reivindicación 1, 2 o 3.
8. Pavimento, carretera, vía férrea o zona de aparcamiento, según la reivindicación 7, en que la geocelda se ha llenado con un material granular seleccionado del grupo que comprende arena, grava, piedra triturada, balasto, desechos de cantera, hormigón triturado, asfalto reciclado, ladrillos triturados, escombros y residuos de construcción, vidrio triturado, cenizas de central eléctrica, cenizas volantes, cenizas de carbón, escoria de alto horno de hierro, escoria de fabricación de cemento, escoria de acero y mezclas de los mismos.

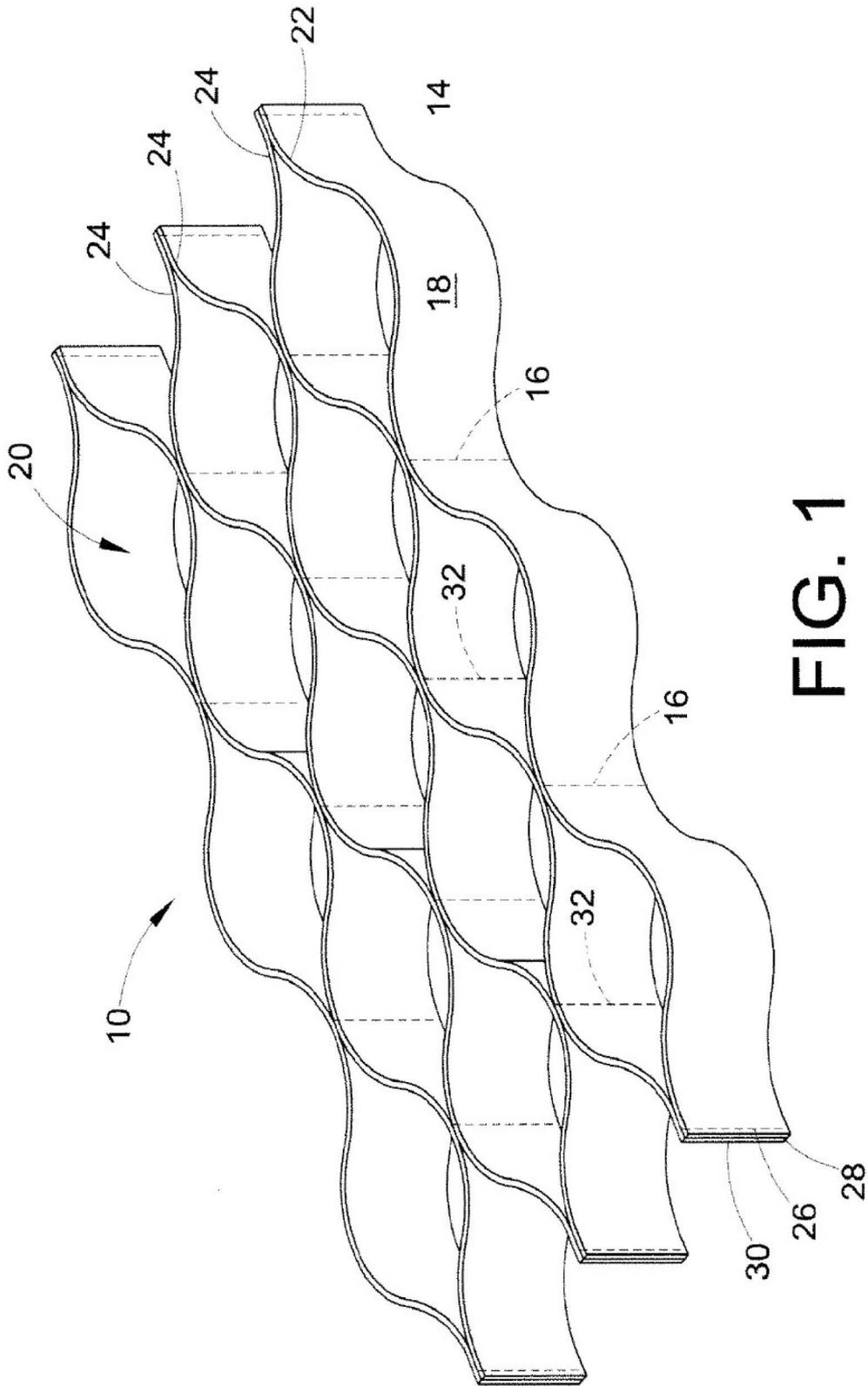


FIG. 1

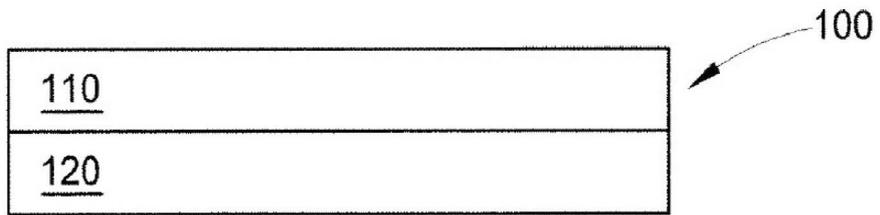


FIG. 2

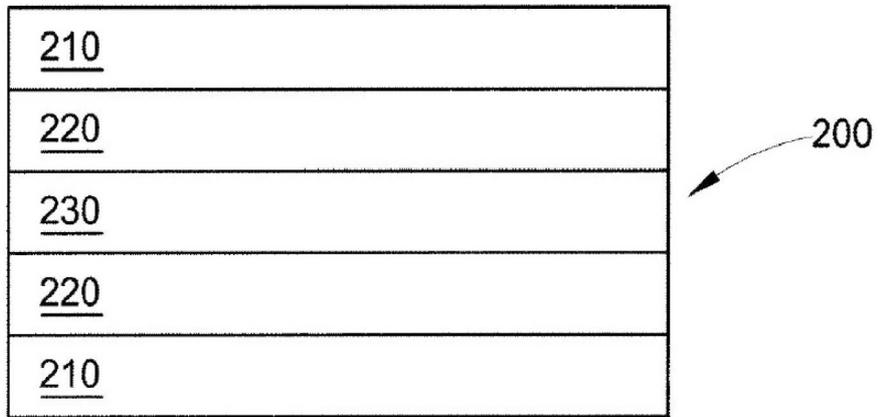


FIG. 3

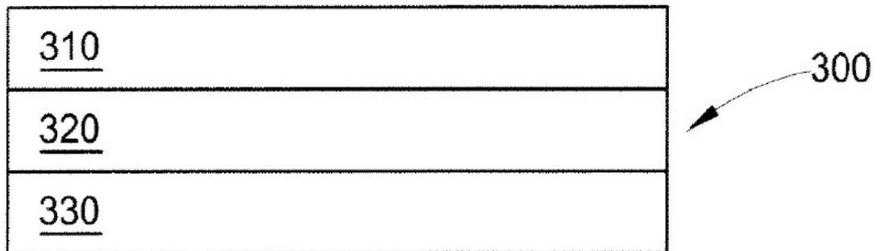


FIG. 4

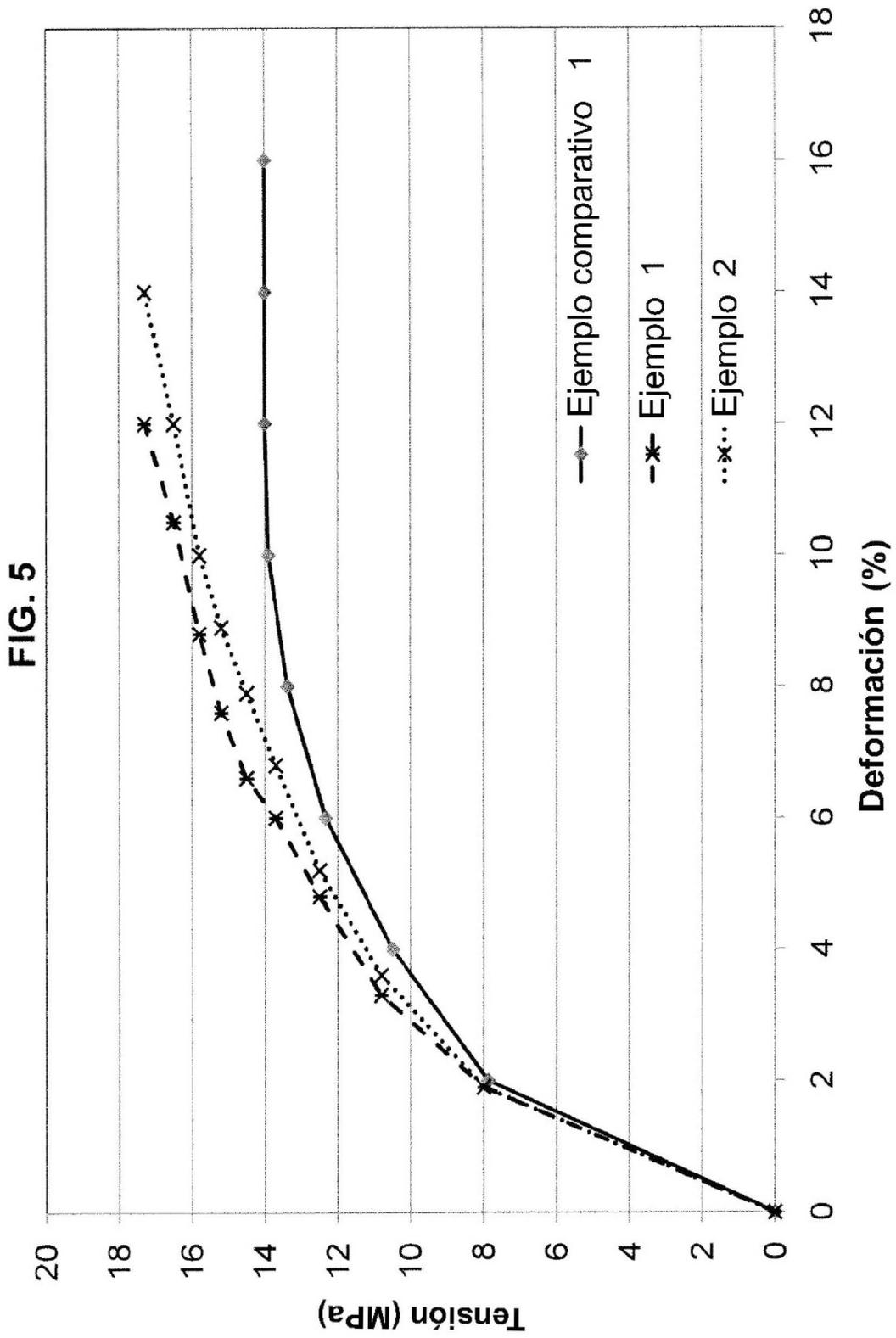
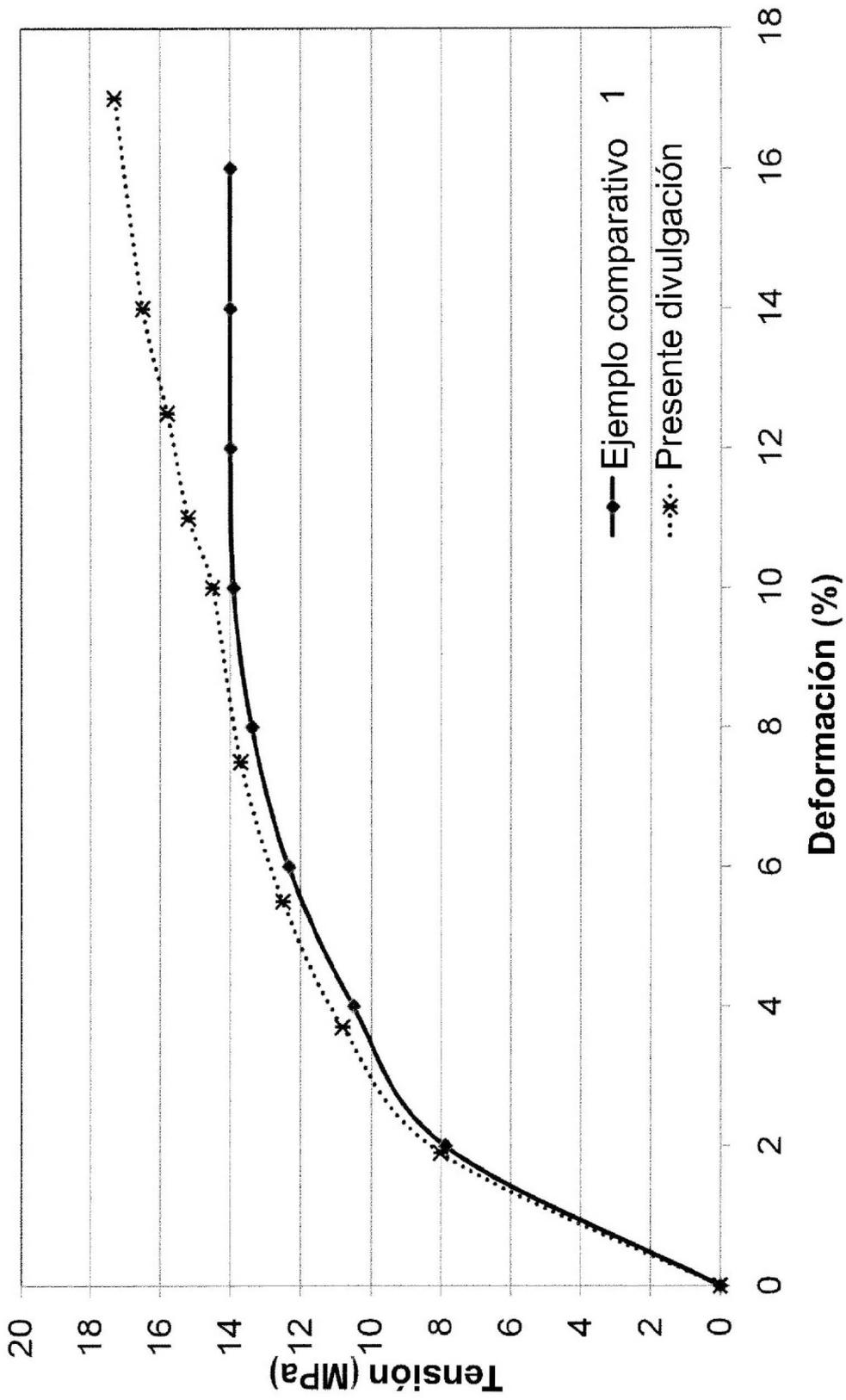


FIG. 6



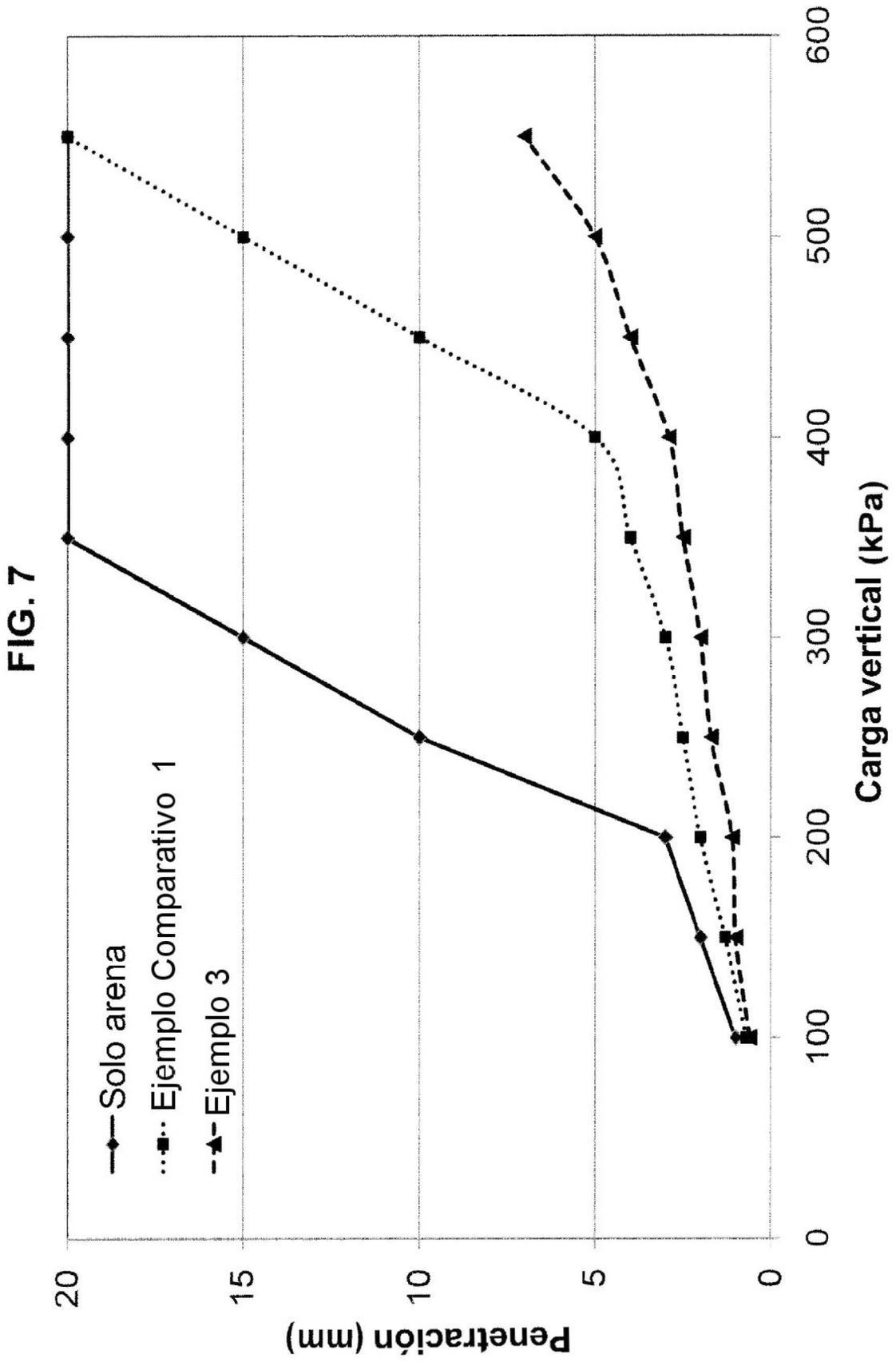


FIG. 8.

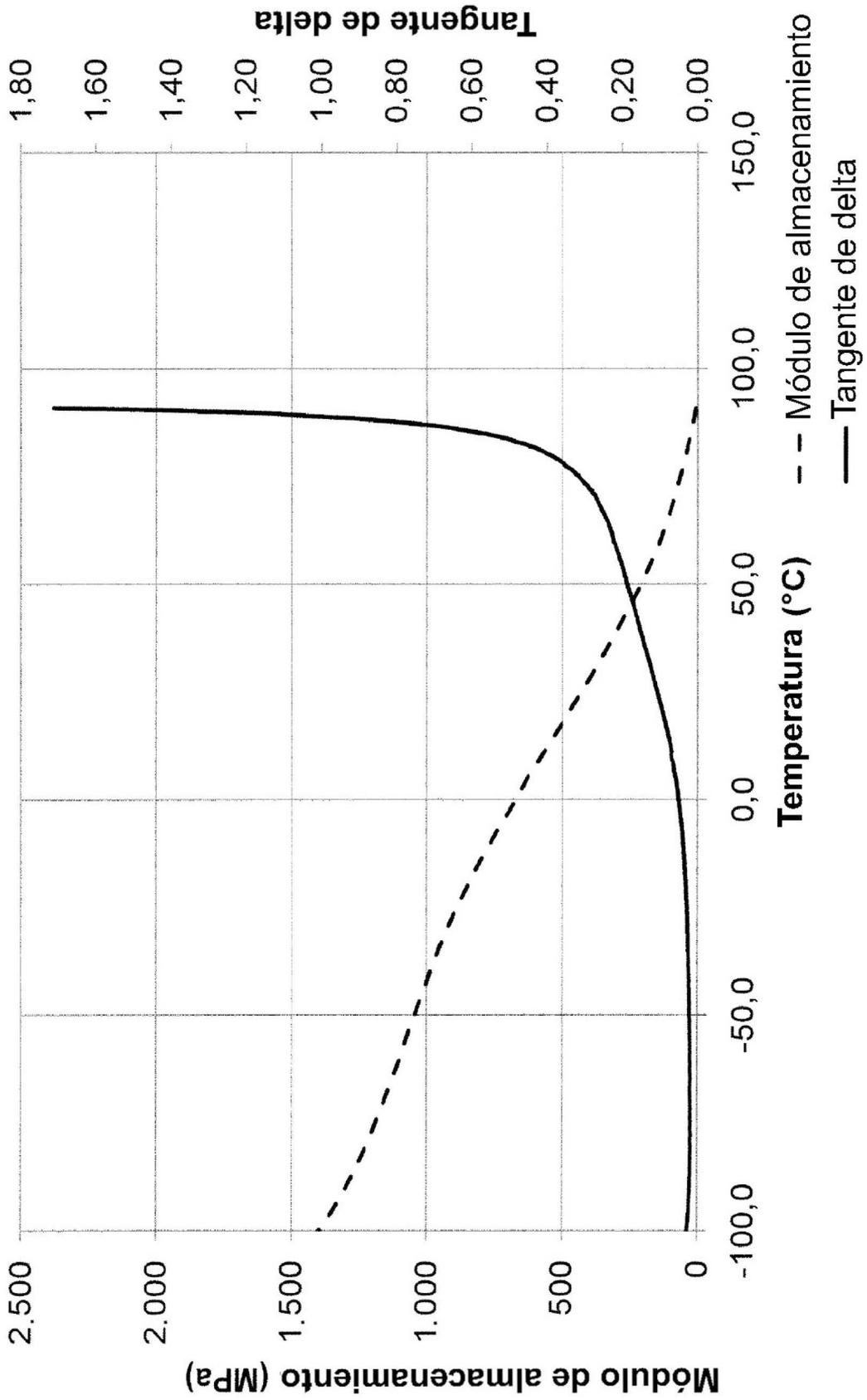


FIG. 9.

